

BETÓNOVÉ KONŠTRUKCIE VYSTUŽENÉ LANAMI BEZ SÚDRŽNOSTI

Konštrukčné zásady navrhovania

Aplikácie dodatočného predpätia bez súdržnosti - pozemné staviteľstvo - stropné dosky - základy - murované konštrukcie - konštrukčné zásady.

1. Úvod

Dodatočne predpäté konštrukcie s predpínacou výstužou bez súdržnosti sa vo svete stavajú viac ako 30 rokov.

Prvá stropná doska bola realizovaná v USA už v roku 1955. Laná pokryté mazivom boli v tých časoch vsúvané do PE rúrky, resp. balené do špeciálneho papiera. Spofahlivosť antikorozynej ochrany lana bola nízka a preto dochádzalo často ku zlyhaniu predpätia. V 70-tych rokoch boli zavedené do výroby MONOSTRANDY. Kontinuálny spôsob ich výroby podstatne snížil cenu výrobku, hlavne zabezpečil spofahlivú antikorozyjnú ochranu oceľového predpätieho lana.

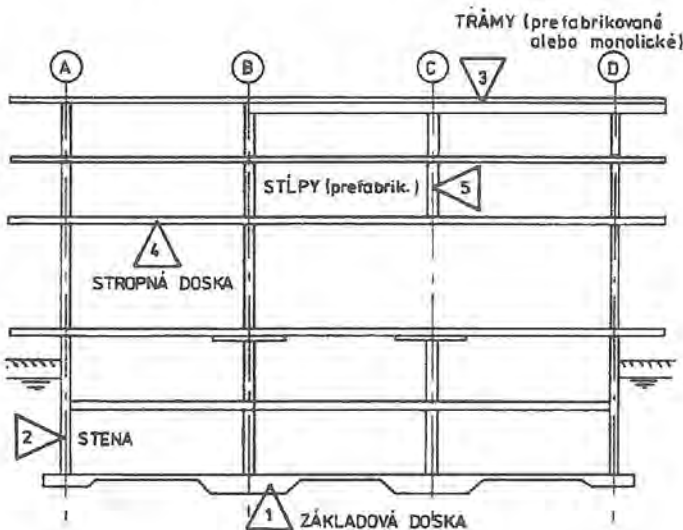
Európu dodatočne predpäté konštrukcie s nesúdržným predpätím zaujali neskôr, až na počiatku 70-tych rokov. Aj keď treba pripomenúť, že aplikácie v mostnom staviteľstve sú v Európe známe od samého počiatku predpätého betónu.

V našom teritóriu bola prvá dodatočne predpätá doska s nesúdržnou výstužou realizovaná v roku 1992. Išlo o strop garáže Domu družstevných roľníkov v Bratislave - Petržalke, ktorý projekčne riešil autor príspevku a dodávateľsky zabezpečovala firma RENOS a. s. Bratislava v spolupráci s PROJSTAR - PK s. r. o. Bratislava.

2. Typické aplikácie dodatočného predpätia bez súdržnosti v pozemnom staviteľstve

Oblasť aplikácie nesúdržného predpätia sa v posledných rokoch radikálne rozšírila. V pozemnom staviteľstve (obr. 1) sú to stropné dosky, základové dosky, strešné konštrukcie, fasádové veľkoplošné elementy, trémové prvky, predpäté murované steny. Najväčšie množstvo predstavujú stropné dosky, v USA sa ich každoročne postaví viac ako 10 miliónov m² [5].

Väčšinou ide o viacpodlažné objekty, ako hotely, školy, komerčné a administratívne budovy, priemyselné haly a sklady a hlavne garáže.



Obr. 1 Predpäté prvky pozemného staviteľstva

2.1 Stropné dosky

Na obr. 2a-c sú vykreslené základné typy dodatočne predpätých stropných konštrukcií. Pri výbere konštrukcie stropu treba zohľadniť dispozičné riešenie objektu, vedenie sietí technických zariadení, veľkosť užitočného zaťaženia a technológiu výstavby.

- Pre rozpätia 7 až 12 m a veľkosť užitočného zaťaženia cca 5 kN/m² navrhujeme dosky konštantnej hrúbky (obr. 2a). Predpínacia výstuž sa navrhuje podľa obr. 3b, d.

- Hlavice, ktoré na rozdiel od hrúbkových dosiek navrhujeme o niečo širšie, dovoľujú zväčšiť rozpätie až na 14 m (obr. 2d). Navrhujeme ich vtedy, ak to dovoľuje účel objektu (estetika), resp. keď použijeme zavesený podhľad. Hlavice okrem priaznivého statického pôsobenia

pomáhajú zvýšiť únosnosť dosky na pretlačenie (prepichnutie) a výrazne znižujú množstvo výstuže na vykrytie zostatku záporného momentu nad stĺpmi. Predpínacia výstuž sa navrhuje v oboch smeroch podľa systému obr. 3b, d.

- Veľmi úspornú stropnú konštrukciu smeľej hrúbky (1/40 - 1/45). I možno navrhnuť pri jednosmernom stenovom podopretí.

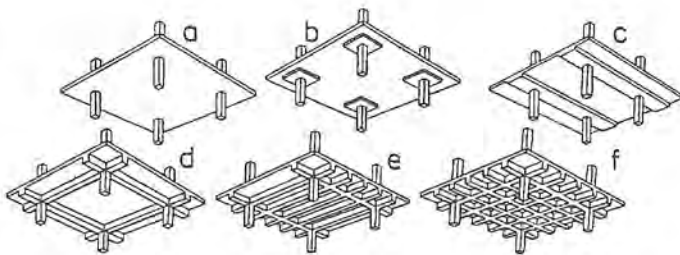
Predpínacia výstuž sa navrhuje jednosmerne kolmo na steny. Ak je objekt dlhý, treba ho vhodne rozdeliť na dilatčné celky, aby sme redukovali vplyv tuhostného odporu stien pri predpínaní lán.

- Pre pôdorys s dĺžkovou prevahou jedného smeru navrhujeme stropy s jednosmernými trámami (obr. 2c). V praxi nájdeme orientáciu týchto trámov v smere kratšieho, aj dlhšieho rozpätia. Orientácia káblov v dlhšom smere dovoľuje redukovať ohybové momenty a deformácie podperového pruhu s vyššou účinnosťou predpätia. Výstuženie predpínacou výstužou možno navrhnuť podľa obr. 3a, c.

Iné riešenie spočíva vo vytvorení tuhého rámového systému v kratšom smere, ktorý nemusí byť predpätý. Ak sa predpína, tak súdržným predpätím. Stropná doska sa potom správa ako jednosmerná, čomu odpovedá i jednosmerné vedenie predpätia (obr. 3a, c).

- Veľké rozpätia sa neobídu bez trémového systému v oboch podperových smeroch (obr. 2d). Trémy predpätých stropov navrhujeme podstatne nižšie a širšie, aby sme mohli do nich umiestniť väčšie množstvo predpínacej výstuže. Systém vedenia predpätia je podľa obr. 3b, d.

- Posledný variant veľkorozponovej stropnej konštrukcie je na obr. 2e. Ide o kazetový strop, ktorý má po stĺpovom obvode trémový systém, podobne ako v predchádzajúcom prípade. Stred dosky je vyfahčený na minimálnu hrúbku dosky. Rebierka minimálnej šírky umožňujú ortogonálne vedenie medzipodperových predpínacích lán. Kazety sa vytvárajú pomocou PVC krabíc, debnení, resp. polystyrénu. Prácnosť na stavbe je o niečo väčšia, ale na druhej strane je vyvážená značnou úsporou materiálu.



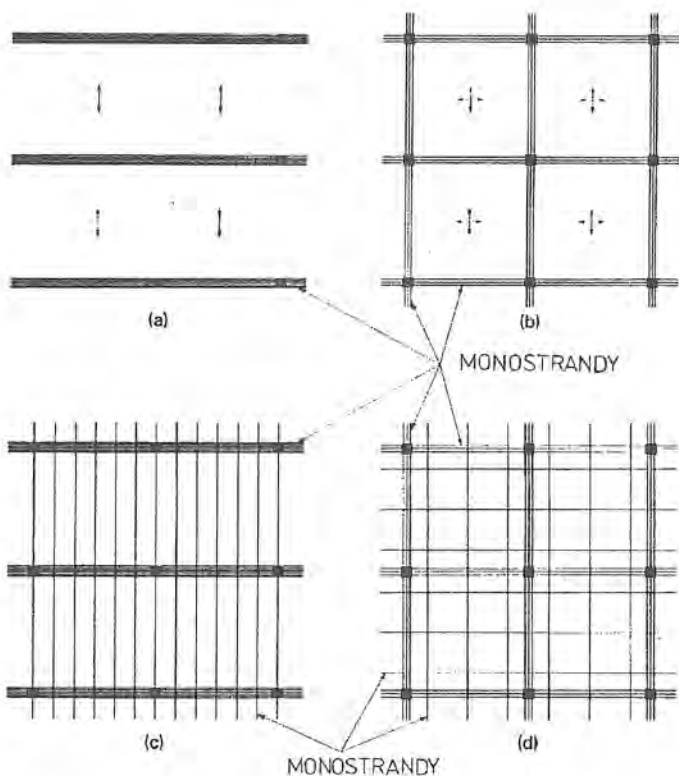
TYP DOSKY	l_{max}	ZAŤAŽENIE	$\frac{h}{l}$
a, b*, c	12-14 m	MAĽÉ	$\frac{1}{40} - \frac{1}{48}$
		STREDNÉ	$\frac{1}{34} - \frac{1}{42}$
		VEĽKÉ	$\frac{1}{28} - \frac{1}{36}$
d	15-20 m	STREDNÉ	$\frac{1}{18} - \frac{1}{28}$
		VEĽKÉ	$\frac{1}{15} - \frac{1}{20}$
e, f	20 m	STREDNÉ	$\frac{1}{26} - \frac{1}{32}$
		VEĽKÉ	$\frac{1}{20} - \frac{1}{28}$

*) Pozn.: Použitím hlavice b, možno znížiť hrúbku o 20 %

Obr. 2 Základné typy stropných dosiek



Doc. Ing. Milan Chandoga, CSc.



Obr. 3 Systém vedenia monostrandov

2.2 Základové konštrukcie

Konštrukčné systémy základových dosiek sa len málo líšia od systémov stropných dosiek (obr. 2). Projektant si musí uvedomiť, že na rozdiel od stropných konštrukcií možno pri základových doskách využiť predpätie ako systém, ktorý sa aktívne podieľa na formovaní rozdelenia napätosti v úrovni základovej škáry. Najlepšie to ilustruje obr. 4. Vhodnou voľbou geometrie a veľkosti predpätia je možné dosiahnuť relatívne tenkú základovú dosku s rovnomernou distribúciou výslednej napätosti. Experimentálne sa dokázalo, že trenie v podloží a reologické vplyvy (základovej pôdy a betónu) ovplyvňujú predpätie oveľa menej ako sa predpokladalo, takže sa pri základových doskách konštantnej hrúbky môžu uplatniť všetky výhody dodatočného predpätia. Na rozdiel od klasických betónových základov je vnútorná napätosť v predpätom priereze výrazne ovplyvnená normálovou zložkou predpätia. Predpätá základová doska je tiež odolnejšia proti vzniku trhlin, čo je dôležitým faktorom v prípade, že ide o založenie pod hladinou podzemnej vody.

Ak je základová doska v mieste stĺpov zosilnená hlavicami, resp. trámami, veľkosť normáloveho napätia bude redukovaná trením medzi podkladovou vrstvou a základom. V takom prípade je vhodné venovať väčšiu pozornosť redukcii ohybových momentov zvislou geometriou káblov.

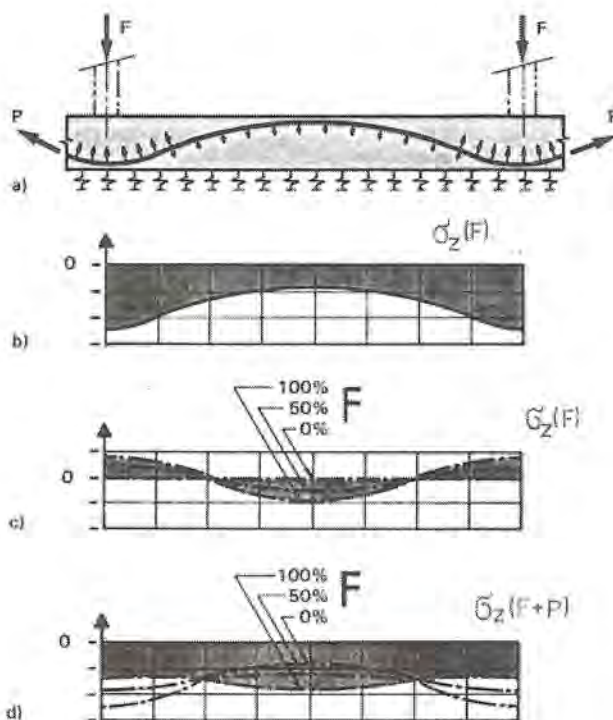
Vzhľadom na rozmery základových konštrukcií sa treba podrobne zaoberať aj postupom betonáže a predpínania. Vhodne časovo uplatnené predpätie umožňuje redukcii zmršťovacích trhlín a tým aj počtu dilatčných škár. Nevhodným uplatnením predpätia možno naopak ztratí celý jeho efekt.

Pri základoch sa geometria i pôdorysné usporiadanie predpínacích káblov riadia tými istými zásadami, ako pri stropných konštrukciách (obr. 3).

2.3 Murované konštrukcie

Murované konštrukcie majú relatívne veľkú pevnosť v tlaku, ale veľmi nízku ťahovú pevnosť. Preto sa primárne navrhujú pre vertikálne prvky namáhané prevažne gravitačným zaťažením. V prípade výskytu väčšieho horizontálneho zaťaženia možno pomôcť stenám, ktoré nemajú dostatočné gravitačné zaťaženie aplikáciou zvislého predpätia.

Spôsob umiestnenia predpínacej výstuže v stenách je na obr. 5. Spodná mŕtva kotva je umiestnená v základovej konštrukcii, stropnej doske, resp. špeciálnom železobetónovom venci. MONOSTRANDy môžu byť osadené dopredu alebo dodatočne. V tomto systéme sa MONOSTRAND navlieka do zamurovanej rúrky, ktorá je poskladaná z cca 1 m dlhých kusov a po dosiahnutí spodnej kotvy sa v nej samočinne zakotví. Horná kotva sa zabetónuje do konštrukcie stropu alebo venci.



Obr. 4 Napätosť v základovej škáre predpätej dosky

3. Konštrukčné zásady pre umiestnenie predpínacej výstuže v prvku

3.1 Poloha predpínacej výstuže v doskovom prvku.

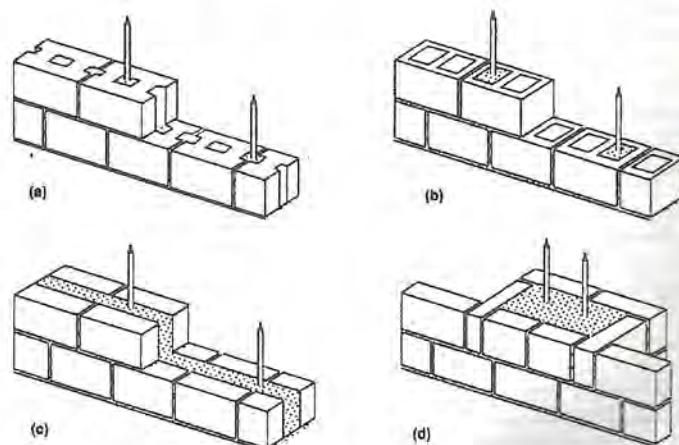
Obr. 6 vystihuje v zjednodušenej podobe statické pôsobenie predpätia v bodovo podopretej doske.

Káble prechádzajúce podperami (stĺpmi - pozri obr. 3) nazyvame podperové. Káble vedené stredom dosky - medzi podperami. Oba systémy káblov kompenzujú vonkajšie gravitačné zaťaženie vlastnou produkciou zaťaženia od účinku predpätia. Veľkosť tohto zaťaženia je úmerná krivosti kábla a je daná vzťahom

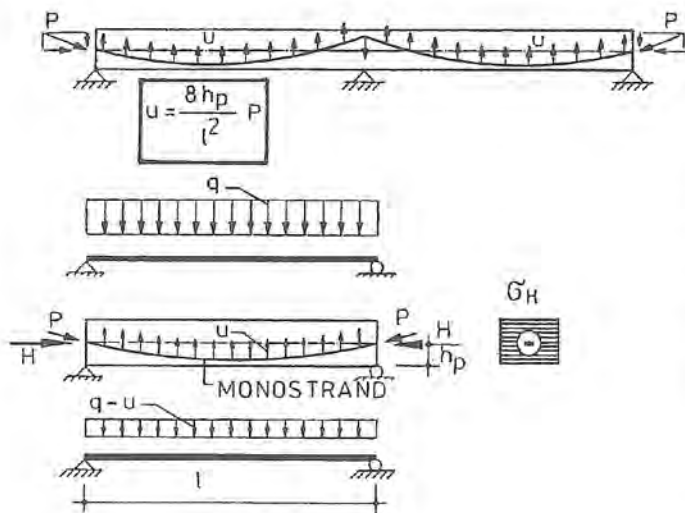
$$u = \frac{P_m}{r} = \frac{8h_p}{l^2} \cdot P_m$$

- kde h_p - vzopätie paraboly
 l - dĺžka paraboly
 P_m - hodnota predpínacej sily
 r - polomer krivosti kábla

Pozn. Pod názvom kábel budeme rozumieť voľné zoskupenie 1 až 4 lán MONOSTRAND, resp. nesúdržný kábel, ktorého láná sú vedené v ocelevej rúrke a injektované mazivom.



Obr. 5 Predpäté murované steny



Obr. 6 Statické pôsobenie MONOSTRANDOV

V oblasti podperových pruhov odovzdávajú medzipodperové káble zaťaženie podperovým káblom. Z tohto hľadiska sú podperové káble dôležitým nosným elementom predpätej dosky. V ďalšom uvedieme niekoľko variantov pôdorysného usporiadania káblov.

- V najjednoduchšom variante sú dosky predpäté iba v podperových pruhoch (obr. 3a, b). Zbytok dosky je vystužený mäkkou výstužou. Tento spôsob vystuženia sa používa pre menšie rozpätia a zaťaženia. Vyššiu účinnosť podperových káblov dosiahneme, ak zväčšíme hrúbku dosky v podperových pruhoch a vytvoríme súvislé pseudotrámy.

- Najrozšírenejší spôsob vystuženia je vykreslený na obr. 3d, c. Ak je jedno rozpätie väčšie, vystužujeme podľa obr. 3c. Zvyčajne v smere kratšieho rozpätia vytvoríme silne vystužený pseudotrámový systém a kolmo na tento systém navrhujeme predpätie s menšou hustotou. V praxi sa často používa aj opačné riešenie so zosilnením stĺpového pruhu v smere dlhšieho rozpätia. Pre pravidelnú podperovú sieť je najčastejšie usporiadanie káblov podľa obr. 3d. Nad stĺpmi sa koncentruje cca 50% všetkého predpätia v jednom a druhom smere. Stred dosky môže byť vystužený pravidelne, resp. miernym zahustením káblov pri stĺpov. Zvislá geometria káblov sa môže v pôdoryse meniť. Blízko podperového pásu sa navrhujú káble s menšou krivosťou, dokonca priame, vedené v ťažisku prierezu.

3.2 Vodorovná vzdialenosť káblov

Vodorovná vzdialenosť káblov závisí od kapacity predpínacej jednotky. Iná bude pre viaclanové súdržné, resp. nesúdržné kábele umiestnené v kanálikoch, iná pre MONOSTRANDy. Norma ČSN 73 1201 požaduje minimálnu hodnotu vzdialenosti kanálikov 30 mm (resp. 0,5 násobok priemeru kanálika).

Minimálna vzdialenosť MONOSTRANDov je určená potrebou minimálnej medzery, ktorá zabezpečí dobré zhutnenie betónovej zmesi a kompaktnosť betónového prierezu. Táto vzdialenosť sa zväčšuje úmerne počtu združených MONOSTRANDov. Maximálne sa pripúšťajú káble zoskupené z 4 ks MONOSTRANDov.

V oblasti kotvenia je vzdialenosť MONOSTRANDov určená typom použitých kotiev a splnením normových podmienok pre napätosť v kotevnej oblasti. Združené MONOSTRANDy sa v oblasti podpory rozvetvujú do jednolanových, resp. dvojnolanových kotiev. Na obr. 7 sú uvedené doporučená pre min. vzdialenosť MONOSTRANDov podľa [3].

Maximálna vzdialenosť predpínacích jednotiek v strednej časti dosky je obmedzená hodnotou 6-8 h (max. 1,5 m). Pri jej stanovení sa vychádza z potreby bezpečného prenosu sústredného zaťaženia. Kritérium [ACI] hovorí o potrebe minimálneho normálového napätia 0,86 MPa, ktoré vypočítame z celkového množstva predpätia na šírke celého poľa.

3.3 Zvislá geometria kábla

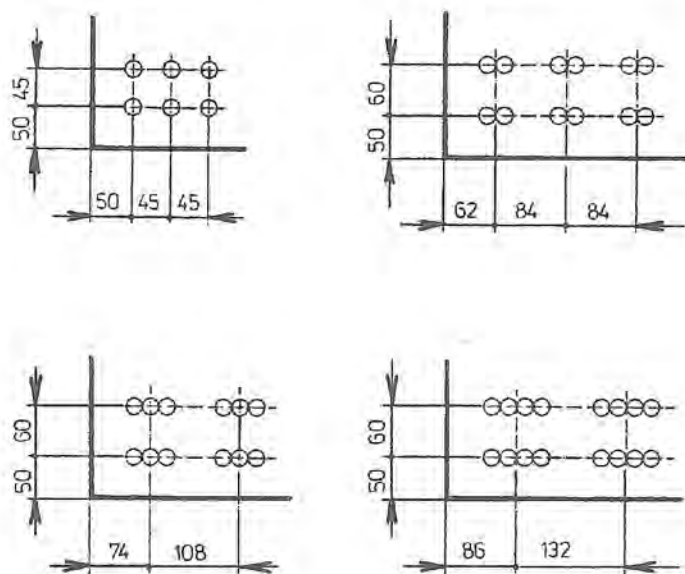
Voľba zvislej geometrie kábla (MONOSTRANDu) je komplexná záležitosť, v ktorej musíme zohľadniť konštrukčné, technologické, statické a dimenzačné aspekty konštrukcie. Veľkosť potrebnej predpínacej sily a počet predpínacích jednotiek je daný zaťažením, hrúbkou, rozpätím a systémom podopretia dosky. Z týchto dôvodov neexistuje jednoznačný návod pre optimálnu voľbu geometrie káblov a ich rozmiestnenie v konštrukcii.

V praxi sa osvedčili dva systémy zvislej geometrie káblov. Kábel s plynulou parabolickou geometriou v poli (obr. 8a) veľmi dobre kompenzuje záporné, ako i kladné medzipodperové momenty od gravitačného zaťaženia. Je vhodný najmä pre vystuženie podperových pruhov s rozhodujúcim podielom na prenose zaťaženia. Druhý typ kábla s polygonálnou geometriou je na obr. 8b. Je vhodný najmä na zvýšenie vykrytie záporných podperových momentov. Ďalšou jeho prednosťou je jednoduchá montáž a dobrá stabilita pri betonáži. Veľmi často sa tento kábel používa ako predpätie v dlhšom smere dosky betonovanej vo viacerých záberoch.

Poloha inflexného bodu kábla medzi jeho konvexnou a konkávnou parabolou sa vzhľadom na zaťažovacie účinky volí vo vzdialenosti $d_s/2$ od okraja stĺpa v tzv. stĺpovom pruhu - (pozri obr. 6). Vzhľadom na vlastnú ohybovú tuhosť lana volíme minimálny polomer krivosti paraboly $r = 2,5$ m. Pre celkovú geometriu kábla platí, že geometria nadväzujúcich parabol a priamych úsekov je viazaná splnením podmienok spojitosti (prvej derivácie) v ich inflexných bodoch.

Zvislá geometria kábla v krajnom poli je podmienená hlavne spôsobom podopretia dosky a polohou kotvy v priereze. Najčastejšie sa volí plynulá parabola s kotvením kábla v ťažisku prierezu dosky.

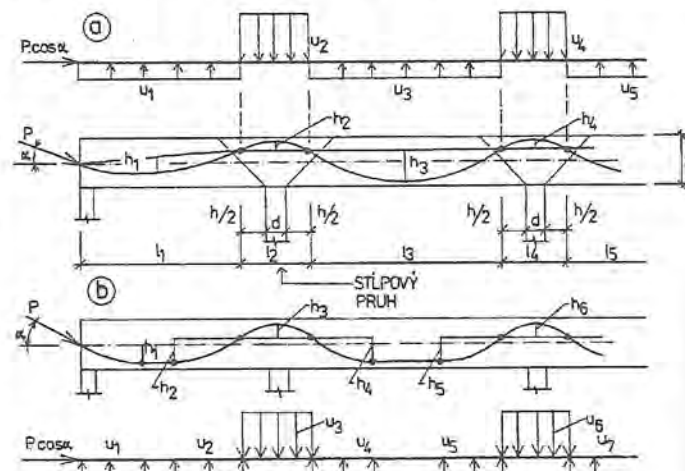
Zmena geometrie kábla v oblasti kotvenia musí byť plynulá, najlepšie priamková, aby nedošlo k vrúbovému namáhaniu lana v kotve.



Obr. 7 Doporučená vzdialenosť MONOSTRANDov podľa [3]

3.4 Krytie predpínacej výstuže

Životnosť a bezpečnosť predpätej konštrukcie je závislá od dôslednej antikorozynej ochrany celého predpínacieho systému. Táto prísna požiadavka sa týka súdržnej výstuže, ako aj výstuže bez súdržnosti. Problematika korózie súdržnej výstuže je dostatočne známa najmä z mostných konštrukcií, ktoré sú vystavené značnému náporu agresívneho prostredia. Ku korózii najčastejšie dochádza v miestach



Obr. 8 Zvislá geometria MONOSTRANDov

nedokonalej injektáže s trvalým zatekaním korozívnych vôd. Oveľa častejšie podliehajú korózii koncové kotvenia, ktoré nemajú podstatný vplyv na bezpečnosť predpätého systému v prípade, že je kábel kvalitne zainjektovaný.

V inej situácii sa nachádza predpínacia výstuž MONOSTRAND. Pokiaľ ide o samotné laná, ich ochrana je dvojnásobná (mazivo, PE). Vo svete neboli zaregistrované prípady, že by došlo ku korózii MONOSTRANDov, ak jeho polyetylénový plášť ostal neporušený. Prípady zlyhania predpätia boli vždy spojené jedine s koróziou koncového kotvenia. Hoci samotná doska môže byť trvale v suchom prostredí, kotvenie umiestnené na čele dosky je zvyčajne vystavené vonkajšiemu vlhkému prostrediu. To je dôvod, prečo sa venuje ochrane kotvy a prechodu z kotvy na lano mimoriadna pozornosť. V technológii MONOSTRAND sa zásadne používajú kompaktné a nie delené kotvy. Kompaktné kotvy majú dôsledne zvládnutú ochranu lana proti prenikaniu vlhkosti pomocou PE čapíc a konektorov. Pre káblové kanáliky norma ČSN 73 1201 predpisuje krytie min. 30 mm (resp. $0,5 \varnothing$ kanálika), ktoré sa zväčšuje v prípade mokrého, resp. vlhkého prostredia o 10 mm. Táto norma zatiaľ o MONOSTRANDov nehovorí. CEB - FIP Model Code určuje minimálnu kryciu hrúbku podľa tab. 3.1.

Minimálna krycia vrstva je tiež ovplyvnená požiadavkami požiarnej odolnosti. V tab. 3.2 sú uvedené doporučené hodnoty, ktoré boli získané z výskumu požiarnej odolnosti (rezistencie) dodatočne predpätých stropov [2].

Podmienky, ktorým je vystavená konštrukcia	Betón		
	B 20	B25 - 35	B40 - 50
Mierne	15	15	15
Stredné	25	20	15
Drsné	35	30	25

Tab. 3.1 Minimálne krytie predpínacej výstuže

Konštrukcia	Betón	Ohňovzdornosť v min.				
		60	90	120	180	240
spojitá	normálny	20	20	20	25	35
	ľahký	20	20	20	20	25
proste podopretá	normálny	20	35	40	55	--
	ľahký	20	25	35	40	--

Tab. 3.2 Minimálne krytie predpínacej výstuže v závislosti na ohňovzdornosti

4. Niekoľko poznámok k navrhovaniu konštrukcií s predpínacou výstužou bez súdržnosti

Problematika navrhovania týchto prvkov je dostatočne spracovaná v príspevku Doc. Harvana. Preto len niekoľko poznámok ku koncepcii a praktickej činnosti navrhovania doskových konštrukcií.

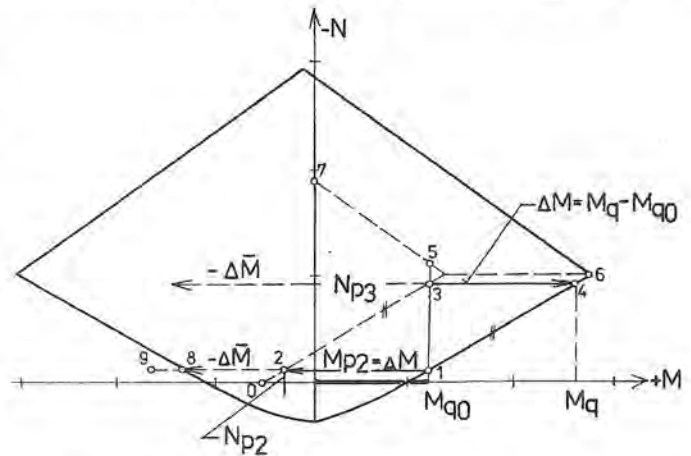
Konštrukcie z predpätého betónu navrhujeme na plné, resp. čiastočné predpätie. Požiadavka **plného predpätia** t. j. medzného stavu vzniku trhlin (MSVT) sa uplatňuje najmä pri návrhu hydrotechnických a ekologických konštrukcií. V pozemných stavbách možno takto navrhovať základové dosky, resp. stropné dosky otvorených objektov (garáží, skladov). Nakoľko mäkká výstuž len málo ovplyvňuje únosnosť prierezu, je rozhodujúcim činiteľom splnenia podmienok MSVT predpätie. Na obr. 9 sú vykreslené dva hraničné spôsoby návrhu predpätia, ktoré zabezpečia únosnosť prierezu na MVT. Centrickým predpätím N_{p3} možno pokryť spoľahlivo prírastok ΔM , ako aj odľahčenie $-\Delta M$, ktoré dostaneme od opačnej kombinácie pohyblivého zaťaženia.

Teoreticky existuje aj minimálne predpätie N_{p2} , ktoré dáva ohybový moment M_{p2} postačujúci na pokrytie ΔM . V tomto prípade je potrebné kontrolovať, či eventuálne odľahčenie $-\Delta M$ nevyvolá vznik trhlin v tlačenej oblasti prierezu. Ak odľahčenie je malej hodnoty, bude daný prierez vyhovovať MSVT pre všetky kombinácie síl predpätia M_p , N_p ležiace naľavo od čiar danej bodmi 0357.

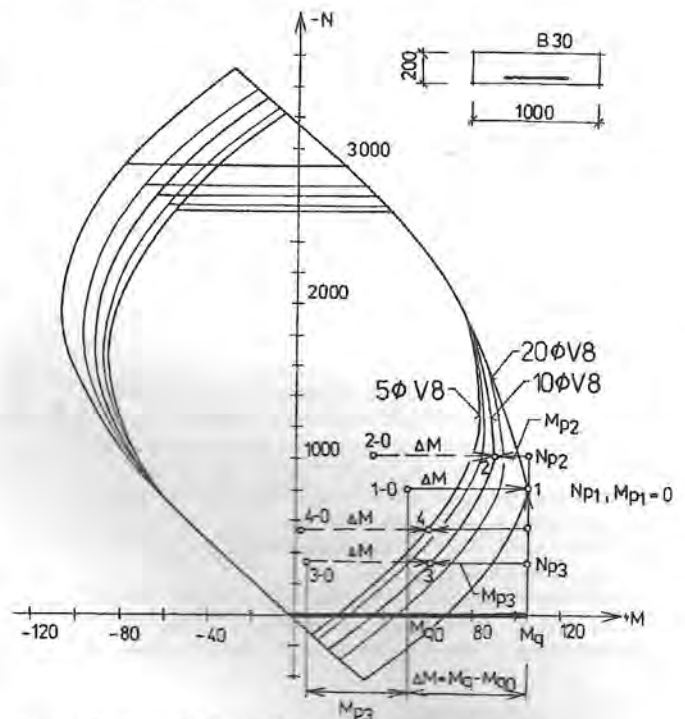
Oveľa častejšie navrhujeme konštrukcie s nesúdržnou výstužou MONOSTRAND ako **čiasťočné predpätie**. Dovoľuje to dvojnásobná antikoročná ochrana ocelového lana. Pri posudzovaní šírky trhlin možno teda použiť tie isté kritériá, ako pri klasickom železobetóne. Na obr. 10 je

vykreslená metodika návrhu mäkkej a predpínacej výstuže uplatnená pri projektovaní Garáží DDR. Pre danú triedu betónu a hrúbku dosky boli Ing. Benkom, CSc. [1] zostavené diagramy únosnosti prierezu vystuženého sieťou KARI s drôti priemeru 8 mm a okami 50 - 75 - 100 - 150 - 200 mm (prvé dva rozmery dostaneme prekrytím dvoch sietí s okami 100, resp. 150 mm). Diagramy slúžili k veľmi rýchlemu a komplexnému návrhu predpätia vo vzájomne na seba nadväzujúcich zónach dosky.

Prijaté riešenie, optimalizujúce vystuženie celej nosnej konštrukcie, bolo výsledkom ekonomického prepočtu, ktorý zahrňoval vlastné materiálové náklady a náklady spojené s realizáciou konštrukcie.



Obr. 9 Diagram únosnosti prierezu na MVT



Obr. 10 Návrh predpätia a mäkkej výstuže stropnej dosky

Literatúra:

- [1] Dodatočne predpäté doskové konštrukcie s výstužou bez súdržnosti MONOSTRAND.
- [2] ÚTR: Technológia a prostriedky pre realizáciu dodatočne predpätých konštrukcií. PROJSTAR Bratislava, december 1992
- [3] Post - tensioned Slabs. VSL MANUAL, Bern 1981
- [4] Vorspannung ohne verbund. MANUAL Vorspann - Technik
- [5] Chandoga M.: Projekt a realizácia dodatočne predpätého stropu DDR v Bratislave - Petržalke. Inžinierske stavby 12/93
- [6] FIP - notes 1987/3

Doc. Ing. Milan Chandoga, CSc.

Navrhovanie betónových konštrukcií pozemných a inžinierskych stavieb, expertízna a konzultačná činnosť. Riaditeľ PROJSTAR - PK s. r. o., výrobcu a dodávateľa kompaktného kotevného systému pre technológiu MONOSTRAND.